Proceedings of 5º Encuentro de Potencia, Instrumentación y Medidas, IEEE, October 19-20, 1999, Montevideo, Uruguay

Control De Flujo Vectorial Mediante un Inversor de Corriente

Alejandro Gómez
Estudiante de Ingeniería
Instituto de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingeniería, UDELAR
Montevideo, Uruguay

Mauricio Riera, S' IEEE
Departamento de Potencia
Instituto de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingeniería, UDEELAR
Montevideo, Uruguay

Gonzalo Casaravilla, M' IEEE
Departamento de Potencia
Instituto de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingeniería, UDEELAR
Montevideo, Uruguay

Abstract— El presente trabajo trata del desarrollo de un prototipo para el control de un motor de inducción basado en su modelo dinámico y utilizando para su accionamiento un inversor de corriente (C.S.I.).

Keywords— Inversor de corriente (C.S.I), ecuaciones de Park, coordenadas de campo, modelo en coordenadas de campo.

I. INTRODUCCIÓN

El motor de inducción ha desplazado al de continua en muchas aplicaciones de regulación de velocidad principalmente debido a la reducción de los costos de los convertidores tales como los variadores de frecuencia.

La máquina asíncrona presenta características que la hacen ser la preferida en aplicaciones industriales: necesita un mantenimiento muy bajo, su costo es bajo y su diseño es simple. Sin embargo resulta ser un sistema complejo desde el punto de vista del control debido a la fuerte no linealidad entre las corrientes de fase y el par electromagnético.

La teoría de campo orientado brinda la posibilidad de hacer un control lineal de par. Esto es posible orientando el vector de corriente estatórica apropiadamente respecto del vector de enlace de flujo rotórico.

El C.S.I. presenta ventajas como ser robusto, barato y simple. Como contrapartida, las corrientes que se pueden obtener presentan grandes armónicos que estarán presentes en el par.

II. MODELO MATEMATICO DEL MOTOR

Partiendo de las ecuaciones dinámicas del motor y expresándolas en un referencial solidario al flujo de enlace rotórico, d q de la Fig. 1, se obtiene un modelo similar al de una máquina de continua.

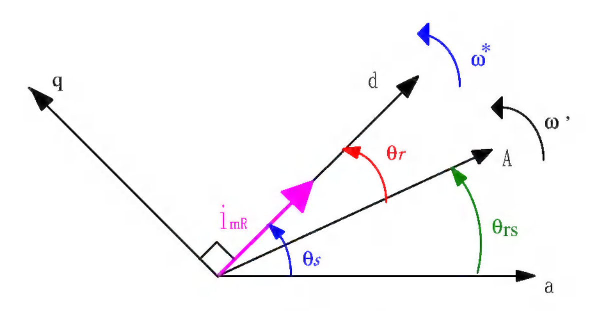


Fig. 1 Sistema de coordenadas de campo

Las ecuaciones resultantes quedan:

$$i_{sd} = i_{mr} + T_r . \frac{di_{mr}}{dt} \qquad (1)$$

$$\frac{d\theta_r}{dt} = \frac{i_{Sq}}{T_r . i_{mr}} \quad ; \quad \frac{d\theta_r}{dt} = \omega^* - P\omega' \qquad (2)$$

$$Ce = \frac{P.L_{12}}{1+\sigma_R} . i_{sq} . i_{mr} \qquad (3)$$

i_s Vector de corriente estatórico
i_{sd} Componente de eje d del vector i_s
i_{sq} Componente de eje q del vector i_s
i_{mr} Corriente magnetizante de rotor.
C_e Par eléctrico
L_{11} Inductancia propia de estator
L_{22} Inductancia propia de rotor
L_{12} Inductancia mutua estator - rotor
T_r Constante de tiempo de rotor
σ_r Constante de dispersión de rotor
$\rho = \theta s$ Argumento de i_{mr} en coordenadas de estator

En analogía con la máquina de continua, en donde el par eléctrico resulta del producto de la corriente de excitación y la corriente de armadura, el par es producto de i_{sq} , proyección de la corriente estatórica sobre el eje de referencia q e i_{mr} corriente que genera el flujo de enlace rotórico. Esta forma de escribir las ecuaciones deja en evidencia que es posible controlar el flujo de enlace rotórico a través de i_{sd} y el par a través de i_{sq}.

La Fig. 2 muestra los esquemas de control a utilizar

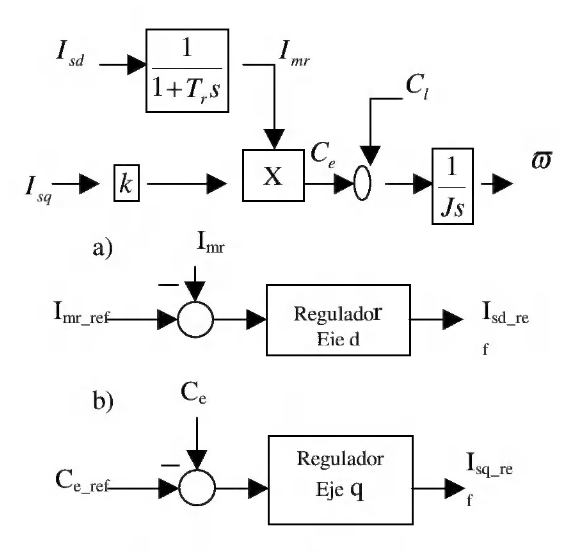


Fig. 2 a) modelo, b)Esquemas de control

III. ESQUEMA DE POTENCIA

El motor de inducción es alimentado a través de un inversor de corriente, el cual opera a partir de corriente continua. Esta corriente es regulada a través de un puente rectificador tiristorizado, seis pulsos dos vías y una bobina de alisado. La Fig. 3 muestra el esquema de potencia completo.

El Inversor de Corriente Autoconmutado (CSI) mostrado en la Fig.4 es un dispositivo que permite convertir corriente continua en corriente trifásica. La corriente continua circula por una fase y retorna por otra mientras que por la restante la corriente es nula.

Existen 6 estados posibles dependiendo del estado de las llaves: La Tabla 1 y la Fig. 5 muestran los estados y llaves que conducen

Tabla 1. Estados

Estado	Llaves On	ir	is	it
0	1 - 2	Ic	0	-Ic
1	2 - 3	0	Ic	-Ic
2	3 - 4	-Ic	Ic	0
3	4 - 5	-Ic	0	Ic
4	5 - 6	0	-Ic	Ic
5	6 - 1	Ic	-Ic	0

Dada las características del conversor, si está en un estado sólo se puede conmutar hacia uno de los dos estados adyacentes.

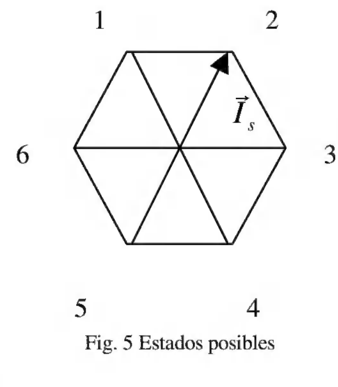


Fig. 5 Estados posibles

Fig. 3 Esquema de potencia

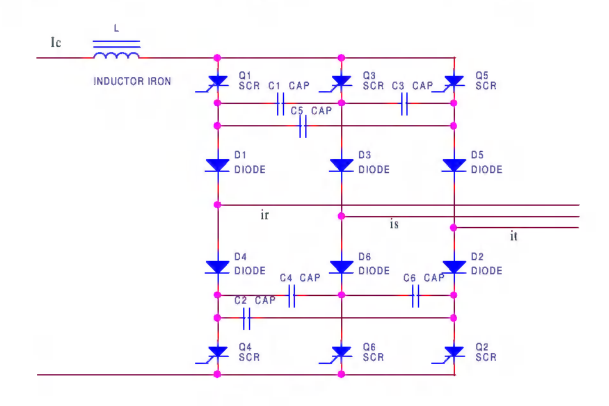


Fig. 4 CSI

IV. ESQUEMA DE CONTROL

El objetivo es controlar velocidad a través del control del par del par eléctrco.

Las magnitudes sensadas para el control son la velocidad y la corriente en el bus de continua (dada la característica del inversor, conociendo el estado se puede conocer el vector de corriente estatórico). La Fig. 6 muestra el esquema de control completo.

Otra magnitud que es necesario conocer para el control es la corriente magnetizante de rotor i_{mr}. Dada la complejidad de implementación de sensores para esta

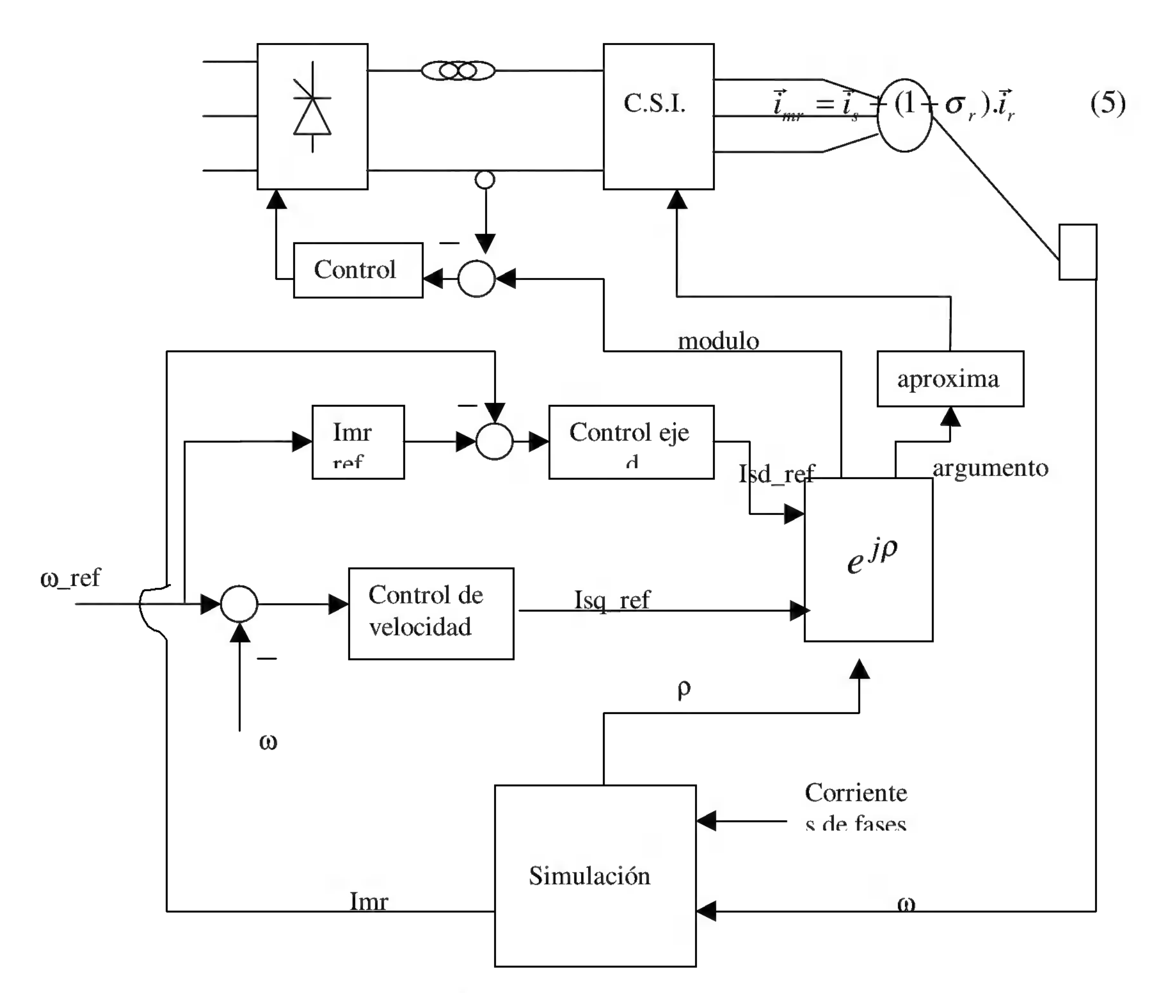


Fig. 6 Esquema de control completo

medida, se optó por una simulación en tiempo real de la máquina para su estimación.

V. ESTIMACION DE i_{mr}

Una opción para estimar i_{mr} es utilizar las ecuaciones presentadas anteriormente. Estas presentan problemas a la hora de resolverlas numéricamente ya que la ecuación correspondiente al argumento de i_{mr} presenta una división entre el módulo de éste el cual es inicialmente nulo.

Como alternativa se utilizaron las ecuaciones de Park solidarias al estator, que no presentan inconvenientes numéricos

En un referencial solidario al estator tenemos:

$$\frac{d\vec{i}_r}{dt} = -\frac{L_{12}}{L_{22}}\frac{d\vec{i}_s}{dt} + j\varpi'\frac{L_{12}}{L_{22}}\vec{i}_s - \left(j\varpi' - \frac{r_2}{L_{22}}\right)\vec{i}_r \quad (4)$$

Por lo que resolviendo esta ecuación se obtiene ir y con is conocido se construye el vector i_{mr} mediante:

VI. IMPLEMENTACION

La implementación para el control fue realizada mediante un PC 586 133Mz equipada con una tarjeta adquisidora LAB PC 1200.

La medida de corriente se efectuó a través de un sensor de efecto Hall, y el sensado de velocidad a través de un encoder incremental de 1024 ppv.

La Tabla 2 muestra los períodos con los cuales se adquirieron las distintas variables y se realizaron los cálculos y comandos de los distintos reguladores.

Tabla 2. Temorización

Temporización	Intervalo
Adq corriente	0.5 ms
Adq velocidad	5 ms
Simulación	1 ms
Reg Corriente	1 ms
Reg imr	5 ms
Reg velocidad	5 ms

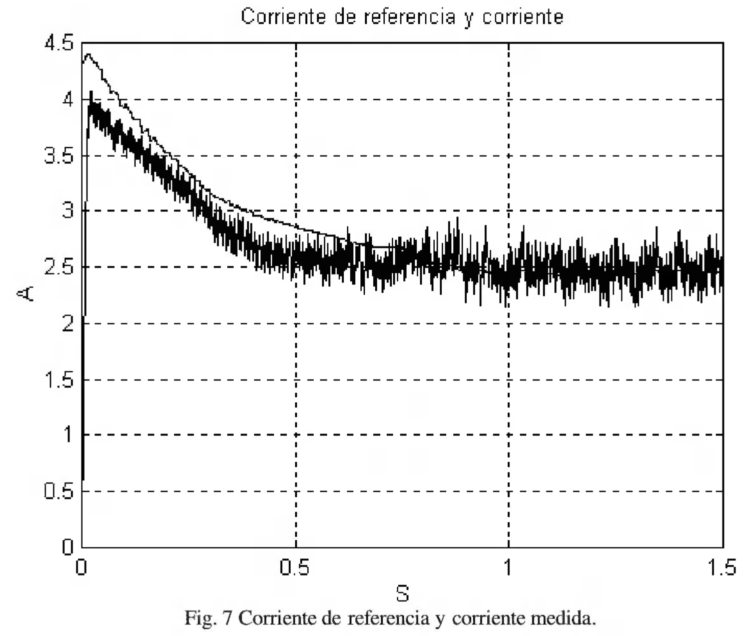


Fig. 7 Corriente de referencia y corriente medida.

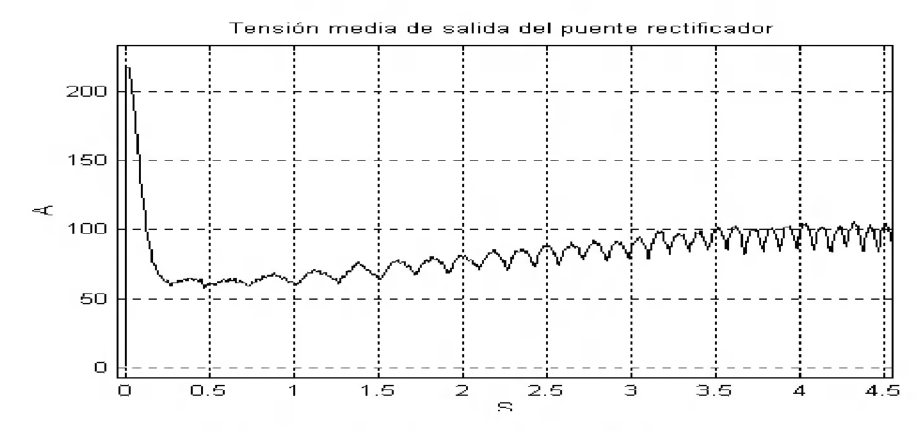


Fig. 8 Tensión media de salida del puente rectificador durante un arranque

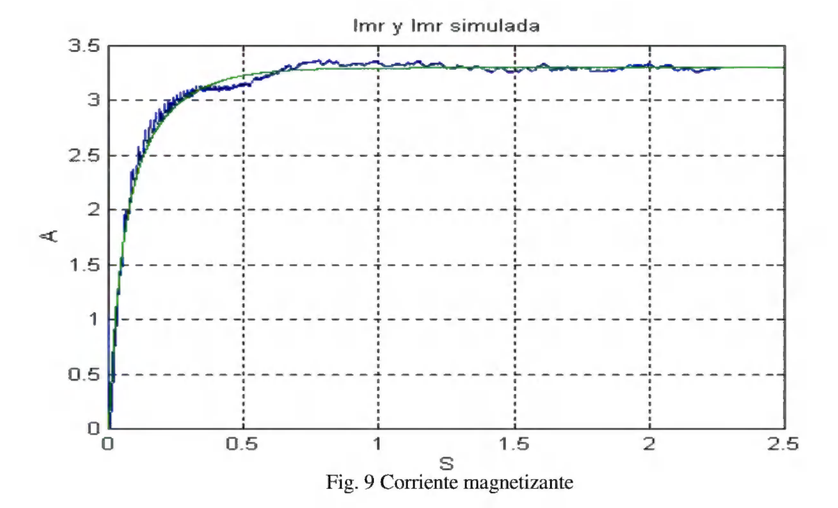


Fig. 9 Corriente magnetizante

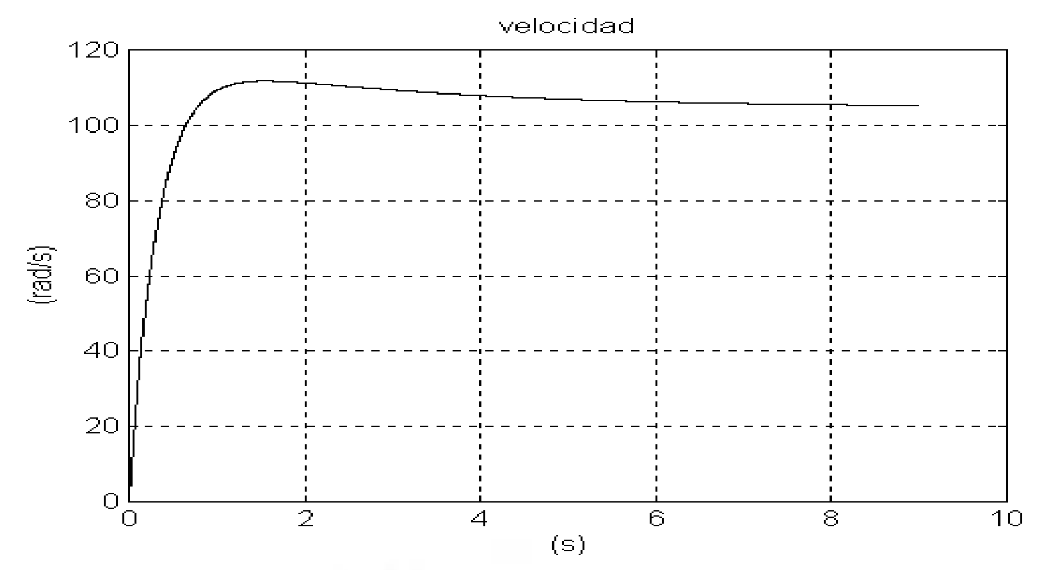


Fig. 10 Repuesta a un escalón de velocidad

VI. RESULTADOS

Las figuras mostradas corresponden al momento de arranque, siendo la consigna de control una determinada velocidad y el objetivo mantener constante la corriente magnetizante y por tanto imr.

La Fig. 7 muestra la corriente de referencia solicitada por el control de corriente y la corriente real registrada.

La Fig. 8 muestra el valor medio de la tensión de salida del rectificador trifásico doble vía que controla la corriente del bus de contínua.

La Fig. 9 muestra imr simulada con Simulink y el valor obtenido de la salida del bloque de control marcado como "simulación" en la Fig. 6.

Finalmente la Fig. 10 muestra cómo el sistema logra controlar la velocidad pese a un pequeño sobretiro ya observado en las simulaciones previas.

En todos los registros realizados se encontró una gran coincidencia con los resultados esperados.

VII. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos están dentro de lo esperado de acuerdo a bibliografía sobre el tema y de las limitaciones inherentes al sistema.

Se pudo comprobar que el par presenta pulsaciones debido a la forma de onda de la corriente, lo cual descarta la utilización de esta topología en aplicaciones donde el objetivo sea el control de par en el eje y particularmente a bajas velocidades.

Sin embargo en aplicaciones de mucha potencia en donde se necesiten regulaciones normales de velocidad, como por ejemplo el control de caudal mediante variación de velocidad de giro de la bomba, esta topología resulta ser una opción a tener en cuenta por su robustez y sencillez.

En particular se destaca que al ser un sistema donde la corriente es controlada en el bus de continua, la contingencia de un corto circuito no representa mayores problemas para despejar la falta.

Un punto a destacar en el presente trabajo es el método utilizado para el cálculo de la corriente magnetizante de rotor, donde al tener una ecuación diferencial de primer orden de fácil resolución, se elimina el problema de su cálculo en las coordenadas de campo, en donde valores de imr bajos traen problemas.

Como tarea pendiente y futuros trabajos queda el estudio de un mejor diseño de los reguladores del contol ya que en este trabajo se utilizaron técnicas estandard y no se buscaron mayores optimizaciones. Se supuso que los lazos no interactúan entre si y se diseñaron los reguladores para que se cumpla esto.

VIII. APENDICE

Datos del motor: 1 HP
4 polos
trifásico, conexión delta
1420 rpm

220 V
3.96 A

IX BIBLIOGRAFIA

[1] Apuntes del curso de Electrónica de Potencia I. Instituto de Ingeniería Eléctrica Universidad de la República. Montevideo Uruguay.

[2] José Luis Aparicio Marzo "Criterio de diseño de convertidores estáticos para accionamientos regulados en corriente alterna con motores de inducción". Tesis doctoral, Madrid, mayo de 1987.

[3] J.Lesene, F. Noteler, G. Seguier. Université des Sciences et Technique de Lille. "Introduction a l´electrotechnique approfondie"

[4] "Adjustable speed Ac drive system" IEEE PRESS (IEEE Industry Applications Society)

[5] W. Leonhard. "Control of electrical drives." Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York Tokyo.

[6] J. Alonso, A. Portillo. MEE/IIE/FI. Universidad de la República. Montevideo-Uruguay. "Modelo de la Máquina Asíncrona".

X. BIOGRAFÍAS



Alejandro Gómez. Estudiante de ingeniería eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.



Mauricio Riera. Estudiante de ingeniería eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. Desde abril de1999 es docente del Departamento de Potencia del Instituto de Ingeniería Eléctrica.



Gonzalo M. Casaravilla (S'89-M'91) recibió en 1990 el título de Ingeniero Electricista de la Universidad de la República. Desde 1986 se desempeña como docente del Departamento de Potencia del Instituto de Ingeniería Eléctrica y es actualmente Profesor Adjunto siendo su campo de especialidad la Electrónica de Potencia.